



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 42 00 997 A 1**

51 Int. Cl.⁵:
B 60 T 8/00
G 01 M 17/02
B 60 K 28/16
B 60 T 8/32
B 62 D 15/02
G 01 N 19/02

21 Aktenzeichen: P 42 00 997.9
22 Anmeldetag: 16. 1. 92
43 Offenlegungstag: 22. 7. 93

DE 42 00 997 A 1

71 Anmelder:
Steyr-Daimler-Puch AG, Wien, AT

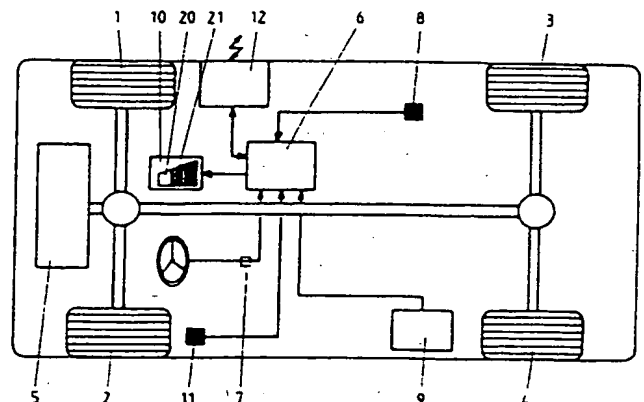
74 Vertreter:
von Föner, A., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Ebbinghaus,
D., Dipl.-Ing.; Finck, K., Dipl.-Ing. Dr.-Ing.,
Pat.-Anwälte, 8000 München

72 Erfinder:
Weinzerl, Alfred, Dipl.-Ing.; Holzinger, Jürgen,
Dipl.-Ing., Graz, AT; Hirschberg, Wolfgang,
Dipl.-Ing. Dr.techn., St. Ulrich, AT

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zur Ermittlung der fahrdynamischen Sicherheitsreserve von Kraftfahrzeugen

57 Ein Kraftfahrzeug ist mit einem Lenkwinkelsensor 7, Beschleunigungssensoren 8 und einem Raddrehzahlensignale liefernden ABS-Gerät 9 ausgerüstet. Zur Ermittlung der fahrdynamischen Sicherheitsreserve werden im Steuergerät 6 zuerst aus Querbesehleunigung und Lenkwinkel ein Kraftschlußwert in Querrichtung, dann aus Raddrehbesehleunigung und Längsbesehleunigung ein Kraftschlußwert in Längsrichtung, und dann aus beiden maximal erreichbare Längsbesehleunigungen durch Multiplikation mit fahrzeugspezifischen Koeffizienten ermittelt. Daraus wird eine Grenzkurve gebildet und zur Ermittlung der fahrdynamischen Sicherheitsreserve Quer- und Längsbesehleunigung mit der Grenzkurve verglichen.



DE 42 00 997 A 1

Die Erfindung handelt von einem Verfahren zu Ermittlung der fahrdynamischen Sicherheitsreserve von Kraftfahrzeugen hinsichtlich des Kraftschlusses zwischen Reifen und Fahrbahn durch Vergleich von aus Fahrzustandswerten ermittelten Größen.

Nach den bisherigen Fortschritten in der Sicherheitstechnik von Kraftfahrzeugen stellt die überraschende oder vom Fahrer nicht rechtzeitig bemerkte Verschlechterung des Kraftschlusses zwischen Rädern und Fahrbahn noch eine große Sicherheitslücke dar. Die Gefahr von Fehleinschätzung oder Überraschung besteht nicht nur beim Bremsen, sondern vor allem beim Befahren von Kurven, wo bereits ein geringfügiges Nachlassen des Reibschlusses folgenschwer sein kann.

Noch größer ist die Gefahr bei allradgetriebenen Fahrzeugen, die dem Fahrer ein subjektives Sicherheitsgefühl vermitteln. Diese weisen außerdem gegenüber konventionellen Fahrzeugen einen relativ engen Übergang zum Grenzbereich auf.

Weitere Fortschritte der Sicherheitstechnik erfordern daher eine möglichst frühzeitige und qualifizierte Warnung des Fahrers bei Absinken des Kraftschlusses. Dabei ist unter "qualifiziert" vor allem zu verstehen, daß die Warnung auch erkennen lassen soll, wie weit man von der Gefahrgrenze noch entfernt ist.

Ein gattungsgemäßes Verfahren ist aus der DE-C 40 10 507 bekannt. Bei diesem wird aus Wertepaaren von Radschlupf und gleichzeitig wirkender Umfangskraft während stationärer oder quasistationärer Betriebszustände auf trockener Fahrbahn unter Annahme einer konstanten Reibungszahl μ eine Kennlinie ermittelt und gespeichert. Wenn später Wertepaare auftreten, die nicht auf dieser Kennlinie liegen, wird daraus gefolgert, daß sich der Kraftschluß verschlechtert hat und ein anderer Reibwert μ vorliegt, und zwar der der Steigung der durch das neue Wertepaar bestimmten Kennlinie entsprechende.

Es ist ganz allgemein umstritten, im Zusammenhang mit der Kraftübertragung zwischen Reifen und Fahrbahn von einem Reibwert μ zu sprechen, da er nicht konstant ist und es sich um einen sehr komplexen Kraftübertragungsvorgang handelt, der nur wenig mit der der Coulombschen Theorie zugrundeliegenden Reibung zwischen starren Körpern zu tun hat. Zwar wird bei dem bekannten Verfahren nur der annähernd lineare Mikrobereich der Schlupfkennlinien benutzt, doch stellt sich die Frage, wie daraus das Kraftschlußpotential im keinesfalls linearen Grenzbereich der Schlupfkennlinie vorhergesagt werden kann.

Weiters kann es als nachteilig angesehen werden, daß zur Ermittlung eine gemessene Radumfangskraft benötigt wird, was einen Eingriff in den Antriebsstrang erfordert, und daß ein Radschlupfsignal (als Differenz aus den Drehzahlen der angetriebenen und den nicht angetriebenen Räder) erforderlich ist, wodurch das Verfahren beispielsweise für allradgetriebene Fahrzeuge nicht anwendbar ist. Dem Vorteil der laufenden Ermittlung auch bei stationärer Fahrt steht gegenüber, daß die Abschätzung des Kraftschlusses nur auf die Umfangssteifigkeit (also nur den Reifenschlupf bei Beschleunigung oder Verzögerung) gegründet ist, ohne die Quersteifigkeit des Reifens zu berücksichtigen, die nebstbei geringer und daher besser meßbar und aussagekräftiger ist.

Ähnliches trifft bei dem aus der DE-A 37 35 673 bekannten Verfahren zu, bei dem außerdem die Umfangsbeschleunigung der angetriebenen Räder nach einer

Differenzenmethode gemessen und unter Berücksichtigung von konstruktiven Größen des Antriebsstranges rechnerisch zu einem Reibwert μ verarbeitet wird.

Schließlich ist es aus der DE-A 36 44 139 bekannt, die aus den Raddrehzahlen berechnete Beschleunigung mit einer durch einen fahrzeugfesten Beschleunigungssensor gemessenen Längsbeschleunigung zu vergleichen, allerdings nur zur Plausibilitätskontrolle der Eingangssignale bei ABS- oder ASR-Systemen.

Es ist daher Ziel der Erfindung, ein Verfahren vorzuschlagen, das eine allen Fahrzuständen und den tatsächlich erreichbaren Grenzbereichen Rechnung tragende Ermittlung der Sicherheitsreserve des Kraftschlusses ermöglicht, keine serienfremden Eingriffe in den Antriebsstrang erfordert und ebenso für allradgetriebene Fahrzeuge geeignet ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den Verfahrensschritten

a) bis d) des ersten Anspruches gelöst. Es werden also die sich erheblich voneinander unterscheidenden Kraftschlußwerte in Längs- und in Querrichtung (entsprechend der sich im Verlauf von der Quersteifigkeit stark unterscheidenden Längssteifigkeit) getrennt ermittelt, wodurch nebst dem Bremsen und Beschleunigen auch Kurvenfahrt und sogar kombinierte Fahrzustände (Bremsen in der Kurve) erfaßt werden. Gerade das Letztere ist für die Fahrsicherheit wichtig, weil die einzelnen Kraftschlußwerte in kombinierten Fahrzuständen geringer sind, was traditionell durch den "Reibungskreis" veranschaulicht wurde.

Weiters ist es vorteilhaft, daß ausschließlich leicht und auch bei Allradantrieb zu ermittelnde Fahrwerte verwendet werden. Es braucht also bei vorhandenem ABS bzw. ASR nur mehr ein Beschleunigungssensor für Längs- und Querbeschleunigung und ggf. ein Lenkwinkelsensor am Fahrzeug angebracht zu werden.

Ein prinzipieller Vorteil des Verfahrens besteht darin, daß die Kraftschlußwerte als proportional bis zu den maximal erreichbaren Beschleunigungen ansteigend definiert sind. Die Kraftschlußwerte selbst sind aber keine lineare Funktion der Fahrwerte, aus denen sie ermittelt sind, sondern geben die Besonderheiten wieder, die die Annahme eines konstanten Reibwertes verbieten. Wegen dieser Definition dürfen die maximal erreichbaren Beschleunigungen durch Multiplikation der momentan vorliegenden Kraftschlußwerte mit fahrzeugspezifischen Koeffizienten ermittelt werden, die im Fahrversuch tatsächlich erreichten Grenzwerten entsprechen.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird mit anderen Worten der Kraftschluß ermittelt:

- durch Auswertung des Lenkwinkelbedarfes bei vorliegender Querbeschleunigung, dann
- durch Auswertung des Bedarfes an Raddrehzahl für eine bestimmte Fahrgeschwindigkeit, sowie schließlich
- aus vektorieller Kombination dieser beiden Auswertungsergebnisse.

Aus der getrennt ermittelten maximal erreichbaren Längs- und Querbeschleunigung läßt sich durch die vektorielle Kombination die komplette Grenzkurve darstellen, die — analog dem "Reibungskreis" — auch für gemischte Fahrzustände (z. B. Bremsen in der Kurve) zutrifft.

Die Annahme des proportionalen Verlaufes der Kraftschlußwerte und deren getrennte Ermittlung gestattet es auch, die momentan gemessenen Längs- und Querbeschleunigungen zu einem Vektor zusammenzusetzen und durch Vergleich mit der Grenzkurve die tatsächlich noch vorhandene Sicherheitsreserve zu bestimmen. So wird eine qualifizierte Warnung möglich.

Will man auch während sehr langer Geradeausfahrt ohne Beschleunigung oder Verzögerung über eine möglichst aktuelle Grenzkurve verfügen, so wird diese gespeichert und immer dann korrigiert, wenn in einem Fahrzustand eine Längs- oder Querbeschleunigung auftritt (Anspruch 2). Dabei ist es ein großer Vorteil der Darstellung der maximal erreichbaren Längs- und Querbeschleunigung als geschlossene Grenzkurve, daß nur ein einziges neues Wertepaar (egal, ob einer der beiden Werte Null ist) genügt, um die ganze Grenzkurve affin zu vergrößern oder zu verkleinern (Anspruch 3). Das wäre nur dann nicht zulässig, wenn die Fahrbahn richtungsabhängig verschieden texturiert ist.

Obwohl es sehr verschiedene Möglichkeiten gibt, aus den genannten vier Fahrzustandswerten die definierten Kraftschlußwerte zu ermitteln, hat es sich als besonders genau erwiesen, sie aus analytisch dargestellten Funktionen zu berechnen, wobei die Koeffizienten der analytischen Darstellung aus durch Versuch oder Simulation ermittelten Werten erhalten werden (Anspruch 4).

Diese Vorgangsweise gewährleistet eine sehr gute Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse. Die Ermittlung der Werte durch Versuch oder Simulation scheint zwar aufwendig, doch sind Versuche bei der Entwicklung eines Fahrzeuges zu anderen Zwecken sowieso notwendig. So gehen die Besonderheiten des Reibwertes, die dessen konventionelle Behandlung verbieten, in diese Werte ein und können durch geeignete Ansätze für die analytische Darstellung der Funktionen voll berücksichtigt werden.

Um die erfindungsgemäß ermittelte Sicherheitsreserve dem Fahrer sinnfällig anzuzeigen und ihm ein weiteres abzulesendes Meßgerät am Armaturenbrett zu ersparen, hat es sich als ausreichend und sogar besonders wirksam erwiesen, die Sicherheitsreserve zuerst mit definierten Schwellenwerten zu vergleichen und bei deren Überschreiten Warnsignale auszulösen (Anspruch 5). Dabei können die Schwellenwerte zweckmäßig gestaffelt und die Warnsignale in Lautstärke, Helligkeit oder Form verschieden sein.

Um Fehlalarme zu verhindern, die den Fahrer gegen Warnungen abtumpfen würden, ist es vorteilhaft, für die Kraftschlußwerte oder Werte der Sicherheitsreserve Grenzen vorzugeben, außerhalb derer diese nicht mehr berücksichtigt werden (Anspruch 6).

In Verfeinerung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es weiters vorteilhaft, das Lenkwinkelsignal durch ein Totzeitglied verzögert in die Berechnung einzuführen (Anspruch 7). Damit wird der Trägheit der Reaktion der Reifenlauffläche auf Lenkradbewegungen Rechnung getragen, die bei Gürtelreifen erheblich sein kann. Ohne dieses Totzeitglied könnte es vorkommen, daß bei kleinen, aber schnellen Lenkradbewegungen unzutreffenderweise ein großer Querschlupf festgestellt wird, der zu einem Fehlalarm führt.

Schließlich ist es im Rahmen der Erfindung noch möglich, bei der Ermittlung der Kraftschlußwerte eine die Fahrbahnneigung berücksichtigende Korrektur vorzunehmen (Anspruch 8). Damit werden auch bei stark bombierten Straßenoberflächen, die ja einen Lenkradausschlag ohne entsprechende Querbeschleunigung be-

dingen (was wieder zu einem Fehlalarm führen könnte) Rechnung getragen.

Im folgenden wird das erfindungsgemäße Verfahren unter Heranziehung von Abbildungen näher erläutert:

Fig. 1 Schematische Darstellung eines für die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeigneten Fahrzeuges.

Fig. 2 Schematische Darstellung eines Kraftfahrzeuges als Einspurmodell bei Kurvenfahrt.

Fig. 3 Diagramm: Kraftschlußwert in Querrichtung in Abhängigkeit von Querbeschleunigung und Lenkwinkel.

Fig. 4 Diagramm: Kraftschlußwert in Längsrichtung in Abhängigkeit von Längsbeschleunigung und Radwinkelbeschleunigung.

Fig. 5 Schematische Darstellung der Grenzkurve mit Grenz- und Fahrzustandsvektor.

Fig. 6 Programmablauf, aufgeteilt auf die Fig. 6A, B, C und D

Fig. 7 Schematische Darstellung der Signalaufbereitung des Lenkwinkels.

Ein für die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignetes und eingerichtetes Kraftfahrzeug ist schematisch in Fig. 1 dargestellt, wobei es sich beispielsweise um ein allradgetriebenes Fahrzeug handelt. Die Vorderräder 1, 2 und/oder die Hinterräder 3, 4 werden von einem Motor 5 in beliebiger bekannter Weise angetrieben.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird von einem Steuergerät 6 ausgeführt, das von einem Lenkwinkelsensor 7, einem Beschleunigungssensor 8 und einem ABS-Gerät 9 mit den folgenden Eingangssignalen versorgt wird: Lenkwinkel AST, Aufbaubeschleunigungen a_x , a_y und Raddrehzahlen n_1 , n_2 , n_3 , n_4 . Das Ausgangssignal des Steuergerätes 6 wird einer Anzeige 10 zugeführt, die etwa aus einem gelben und einem roten Warnlicht 20, 21 besteht und vorzugsweise am Armaturenbrett des Fahrzeuges angebracht ist. Weiters ist noch eine Verbindung zu einer von außen zugänglichen Diagnoseschnittstelle 11 und zu einer ISIS-Einheit 12 vorgesehen, die den drahtlosen Datenverkehr mit ortsfesten Anlagen ermöglicht.

Im folgenden werden die rechnerischen Grundlagen des erfindungsgemäßen Verfahrens beschrieben:

Aus dem gemessenen Lenkwinkel AST wird gemäß den in Fig. 2 dargestellten Beziehungen der korrigierte Lenkwinkel DEK gewonnen. Dazu wird ersterer um den kinematischen Anteil verringert, der sich aus dem Arkustangens des Quotienten aus Radstand und Kurvenradius errechnet. Dabei ist der Kurvenradius der Quotient aus dem Quadrat der beispielsweise aus den Hinterraddrehzahlen ermittelten Aufbau- und Fahrlängsgeschwindigkeit und der Aufbauquerbeschleunigung a_y .

Der Kraftschlußwert in Querrichtung S_{iy} ist nun als Funktion des korrigierten Lenkwinkels DEK und der Aufbauquerbeschleunigung a_y definiert. Diese Funktion entspricht einer Fläche in einem dreidimensionalen Koordinatensystem, die in Fig. 3 durch Schnitte für verschiedene korrigierte Lenkwinkel DEK dargestellt ist. Dort ist a_y auf der Abszisse und S_{iy} auf der Ordinatenachse aufgetragen. Diese Fläche wird analytisch durch einen Polynomansatz beschrieben, dessen Koeffizienten aus fahrzeugspezifischen Messungen bzw. Simulationsrechnungen errechnet werden, und wird im Speicher des Steuergerätes zur späteren Ermittlung des Kraftschlußwertes S_{iy} aus gemessenen Wertepaaren a_y und DEK abgelegt.

Der Polynomansatz kann etwa so aussehen:

$$S_{iy} = A(DEK) a_y + B(DEK) a_y^3 + C(DEK) a_y^5$$

wobei

$$A(DEK) = A_0 + \frac{A_1}{DEK} + \frac{A_2}{DEK^2}$$

$$B(DEK) = B_0 + \frac{B_1}{DEK} + \frac{B_2}{DEK^2}$$

$$C(DEK) = C_0 + \frac{C_1}{DEK} + \frac{C_2}{DEK^2}$$

Zur Ermittlung des Kraftschlußwertes S_{ix} in Fahr-
zeuglängsrichtung wird von den im ABS-System 9 anlie-
genden Raddrehzahlen n_1 , n_2 , n_3 und n_4 und von der
Aufbaulängsbeschleunigung a_x ausgegangen. Eine di-
rekte Messung des Radschlupfes erübrigt sich, wenn
man diesen aus Aufbaulängsgeschwindigkeit und Rad-
drehgeschwindigkeit eines angetriebenen Rades be-
rechnet. Wenn man die Beziehung

$$\text{Schlupf SL} = \frac{V_x - r_e \Phi_i}{V_x}$$

differenziert und umformt, ergibt sich, daß die Raddreh-
beschleunigung Φ_i das Produkt aus der Aufbaulängs-
beschleunigung a_x und einer durch die Kraftschlußver-
hältnisse bestimmten Größe, dividiert durch den effektiven
Reifenradius, ist. Dabei hängt letzterer von der Rad-
aufstandskraft ab, die bei Längsdynamik ihrerseits von
der Aufbaulängsbeschleunigung abhängt. Damit ist es
gerechtfertigt, den Kraftschlußwert in Längsrichtung
 S_{ix} als Funktion der Aufbaulängsbeschleunigung a_x und
der Raddrehbeschleunigung Φ_i anzunehmen. Durch Si-
mulationsrechnungen anhand dieser Beziehung wurde
festgestellt, daß die Vorderräder für eine Abschätzung
der Kraftschlußverhältnisse besser geeignet sind.

Auch diese Funktion für den Kraftschlußwert S_{ix} in
Längsrichtung entspricht einer Fläche in einem dreidi-
mensionalen Koordinatensystem (genaugenommen
zwei Flächen, eine für positive und eine für negative
Beschleunigungen), die in Fig. 4 wieder durch Schnitte
längs Ebenen konstanter Winkelbeschleunigung in eine
zweidimensionale Kurvenschar übergeführt ist. Die
Längsbeschleunigung a_x ist auf der Abszisse, der Kraft-
schlußwert in Längsrichtung ist als Ordinate aufgetra-
gen. Es ist zu erkennen, daß die Kurven bei geringeren
Raddrehbeschleunigungen sehr steil verlaufen, was eine
analytische Darstellung dieser Fläche erschwert. Ein ge-
eigneter Ansatz könnte unter Heranziehung der im
SAE-Paper 8 70 421, 1987 beschriebenen Methode fol-
gendermaßen aussehen:

$$S_{ix} = \frac{1}{B(\Phi_i)} \tan \left(\frac{1}{C(\Phi_i)} \arcsin \frac{a_x}{D(\Phi_i)} \right)$$

Darin sind

$$B(\Phi_i) = B_2 \sin(B_1 \arctan(B_0 \Phi_i))$$

$$C(\Phi_i) = C_0 + C_1 \Phi_i + C_2 \Phi_i^2$$

$$D(\Phi_i) = D_0 + D_1 \Phi_i + D_2 \Phi_i^2$$

Auch hier werden wieder die einzelnen Koeffizienten
für die analytische Darstellung der Fläche aus Versuchs-

bzw. Simulationsresultaten berechnet und die Funktion
 S_{ix} wird im Speicher des Steuergerätes 6 zur späteren
Benutzung abgelegt.

Wegen der Meßfehler, vor allem bei der Messung der
Längsbeschleunigung und wegen des Meßrauschens ist
der in Fig. 4 oben schraffierte Bereich meßtechnisch
nicht zugänglich, Werte in diesem Bereich werden daher
ausgeschieden. Der untere schraffierte Bereich ist physik-
alisch nicht möglich. Das bedeutet, daß beim Beschleu-
nigen bzw. Bremsen erst ab einer Ausnutzung von etwa
50% der maximal erreichbaren Längsbeschleunigung
axLIM ein brauchbares Signal vorliegt.

Wenn das Fahrzeug nun in Betrieb ist, werden dem
Steuergerät laufend Meßwerte a_y , DEK, a_x , Φ_i gelie-
fert und aus diesen in Echtzeit mit Hilfe der abgelegten
Funktionen die Kraftschlußwerte S_{ix} , S_{iy} und daraus in
der Folge durch Multiplikation mit ebenfalls im Spei-
cher des Steuergerätes 6 abgelegten Koeffizienten K_x ,
 K_y , die den durch Versuche ermittelten tatsächlichen
Grenzbereich des Fahrzeuges beschreiben, die maximal
erreichbaren Beschleunigungen $axLIM$, $ayLIM$ errech-
net. Diese Vorgangsweise ist durch die Annahme der
Kraftschlußwerte als proportional und die Qualität der
abgelegten Funktionen gerechtfertigt.

Die maximal erreichbaren Beschleunigungen $axLIM$,
 $ayLIM$, wobei es vorteilhaft ist, für $axLIM$ zwischen
einem Wert für Beschleunigen und einem Wert für
Bremsen zu unterscheiden, sind in Figur 5 auf den Ach-
sen des Koordinatensystems eingetragen und daraus
durch Einzeichnen von "Vierteilellipsen" die Grenzkurve
 $aLIM$ erzeugt. Im Betrieb geschieht das (und das Fol-
gende) rechnerisch in Echtzeit und die jeweils gültige
Grenzkurve ist ebenfalls im Speicher des Steuergerätes
6 abgelegt. Die äußere Kurve $aLIM$ in Fig. 5 ist die
Grenzkurve bei hohem Kraftschluß, also beispielsweise
auf trockener griffiger Straße, und die innere Grenzkur-
ve $aLIM$ entspricht geringem Kraftschluß, also etwa
einer Schneefahrbahn. Wenn sich während der Fahrt die
Kraftschlußwerte S_{ix} , und/oder S_{iy} , die ja laufend be-
rechnet werden, ändern, so wird daraus durch affine
Transformation eine aktualisierte Grenzkurve $a'LIM$
berechnet (strichliert eingezeichnet), die die abgespei-
cherte ersetzt.

Im rechten unteren Viertel ist der aktuelle Fahrzu-
standsvektor AF mit seinen Komponenten a_x und a_y ,
und der zur aktuellen Grenzkurve weisende kollineare
Grenzvektor AMAX mit seinen Komponenten $axMAX$,
 $ayMAX$ dargestellt. Der konsumierte Abstand zum
Grenzbereich SAFLIM ergibt sich als Quotient der Ab-
solutbeträge dieser beiden Vektoren. Wenn nun durch
Änderung des Straßenzustandes die äußere Grenzkur-
ve $aLIM$ auf die strichliert eingezeichnete Grenzkurve
 $a'LIM$ zusammenschrumpft, der Grenzvektor AMAX
somit bei gleichbleibendem aktuellen Fahrzustandsvek-
tor AF kleiner wird, so verringert sich der Quotient aus
deren Absolutbeträgen und SAFLIM, der konsumierte
Abstand zum Grenzbereich, steigt.

Wenn SAFLIM über einen vorgegebenen Grenzwert
steigt, leuchtet auf dem Anzeigegerät 10 eine gelbe
Warnlampe 20 auf. Bei Überschreiten eines zweiten
Grenzwertes leuchtet dann auch noch die rote Warn-
lampe 21 auf.

Anhand der Fig. 6, die aus den vier Tafeln A,B,C und
D besteht, wird nun noch der Programmablauf mit sei-
nen der Berechnung vorausgehenden logischen Ver-
knüpfungen und Entscheidungen beschrieben. Er läuft
im Mikrorechner des Steuergerätes 6 zyklisch ab.

Die von Lenkwinkelsensor 7, Beschleunigungssenso-

ren 8 und ABS-Gerät 9 gelieferten fahrzustandsspezifischen Daten werden bei 40 aufbereitet (Fig. 6A) und stehen für die weiteren Schritte zur Verfügung. Die Datenaufbereitung umfaßt Filterung, AD-Wandlung, Korrektur, Kalibrierung, Filterung und Ableitung zur Erzeugung differenzierter Signale. Die Behandlung des Lenkwinkelsignales ist weiter unten unter Bezugnahme auf Fig. 7 erläutert.

Bei 41 wird die Aufbau­längsgeschwindigkeit RVS mit einem Minimalwert RVSLIM verglichen. Solange sie diesen Wert (ca. 10 km/h) noch nicht erreicht hat, wird gemäß Verbindungslinie 70 bei 54 festgestellt, daß kein Kraftschlußwert ermittelbar ist und zum abschließenden Kästchen 50 gegangen, von dem aus der Zyklus aufs Neue beginnt.

Ist die Aufbau­längsgeschwindigkeit RVS groß genug, so wird bei 42 entschieden, ob die Ableitung der Horizontalbeschleunigung AZDIF größer als ein vorgegebener Grenzwert AZDIFLIM ist. Wenn ja, wird keine Neuberechnung des Kraftschlußwertes vorgenommen, der alte Wert bleibt erhalten (49). Wenn nein, wird bei 43 entschieden, ob der Lenkwinkel AST größer als ein Grenzwert ASTLIM ist. Wenn nein, kann keine Kraftschlußermittlung in Querrichtung vorgenommen werden, Verbindungslinie 71 führt zum Kästchen 55 (Fig. 6B) auf das später zurückgekommen wird.

Ist der Lenkwinkel größer als ASTLIM, so wird bei 44 entschieden, ob die Querb­eschleunigung ay größer als ayLIM, also groß genug ist. Wenn nein, wird bei 51 entschieden, ob der Lenkwinkel AST größer einem weiteren Grenzwert AST R LIM ist, ab dem das Fahrzeug geradeaus rutschen könnte, was bei 53 überprüft wird und direkt bei 50 zum Ende des Rechenzyklus führt. Wenn nicht, bleibt der alte Kraftschlußwert erhalten.

Wenn bei 44 entschieden wird, daß die Querb­eschleunigung ay größer als ayLIM ist, so wird entschieden, ob die erste Ableitung des Lenkwinkels ASTDIF über einem Grenzwert ASTDIFLIM liegt (plötzliche Lenkraddrehung) und wenn ja, bleibt der alte Kraftschlußwert erhalten. Wenn nein, wird bei 46 die Aufbau­längs­beschleunigung ax mit einem Grenzwert axLIM verglichen. Ist die Aufbau­längs­beschleunigung ax zu gering, so wird entschieden, bei 47 nur den Kraftschlußwert in Querrichtung zu ermitteln. Ist die Aufbau­längs­beschleunigung ax größer als axLIM, so wird im Kästchen 48, dessen Inhalt in Fig. 6C zu sehen ist, der allgemeine Kraftschlußwert ermittelt. Die entsprechenden Verbindungslinien sind mit 74, 75 und 76 bezeichnet. Die beiden letzteren führen wieder zur Ermittlung der Sicherheitsreserve bei 50.

Ist bei 43 der Lenkwinkel AST kleiner als ASTLIM, so führt Linie 71 über die Ermittlung der Mittelwerte der Raddrehbeschleunigung bei 55 zu 56 (Fig. 6B), wo entschieden wird, ob dieser Mittelwert SFDIFM größer als ein Grenzwert SFDIFMLIM ist. Wenn nicht, muß bei 60 zwecks Kompensation die Fahrbahnneigung berechnet werden und der alte Kraftschlußwert bleibt erhalten (62). Wenn schon, wird bei 57 entschieden, ob die Aufbauquerbeschleunigung ay größer als ayLIM ist und bei 58, ob die Aufbau­längs­beschleunigung ax größer als ein Grenzwert axLIM ist.

Ist die Querb­eschleunigung größer und die Längs­beschleunigung nicht größer, kann kein neuer Kraftschlußwert in Längsrichtung ermittelt werden und der alte Kraftschlußwert bleibt erhalten (62). Ist hingegen die Querb­eschleunigung ay unter dem Grenzwert ayLIM und die Längs­beschleunigung ax über dem Grenzwert axLIM, so kann bei 59 (siehe Fig. 6D) der Kraft-

schlußwert in Längsrichtung six ermittelt werden.

In Fig. 6C ist der Ablauf im Fall der Berechnung des allgemeinen Kraftschlußwertes im Detail dargestellt. Bei 100 wird durch Vergleich der Längsbeschleunigung ax mit Null zwischen Bremsen und Beschleunigen unterschieden. Bei 101 bis 106 wird entschieden, ob die Ableitungen der Längsbeschleunigung ax und der Raddrehzahl SF (SFDIF = Phi) größer oder kleiner als vorgegebene Werte sind und je nachdem bleibt entweder der alte Kraftschlußwert erhalten 107, 110 oder es wird ein neuer Kraftschlußwert berechnet 108, 109. Dem erhalten gebliebenen oder dem neu ermittelten Kraftschlußwert 111, 112 werden bei 113, 114 noch die Kraftschlußwerte bei Querb­eschleunigung von 47 überlagert und die so erhaltenen Werte 75, 76 werden zur Berechnung der Sicherheitsreserven in 50 verwendet.

Fig. 6D zeigt im Detail den Ablauf im Fall der Berechnung des Kraftschlusses in Längsrichtung, die erfolgt, wenn die Längsbeschleunigung den Mindestwert axLIM überschritten hat (58), was durch die Verbindungslinie 77 angedeutet ist. Zuerst wird wieder bei 120 entschieden, ob die Längsbeschleunigung ax positiv oder negativ ist, es sich also um einen Brems- oder einen Beschleunigungsvorgang handelt. Nun werden wieder, analog Fig. 6C, Aufbau­längs­beschleunigung ax und Raddrehgeschwindigkeit SF in den entsprechenden Differenzierungsstufen (SFDIF steht für Phi) mit Grenzwerten verglichen und entsprechend diesen Kriterien entschieden, ob der alte Kraftschlußwert erhalten bleiben soll (Linien 80, 81 zu 61, 62) oder ob der Kraftschluß in Längsrichtung neu zu berechnen ist (127, 128). Diese Entscheidung erfolgt bei 121 bis 126 und entspricht den schraffierten Flächen in Fig. 4. Die entsprechenden Befehle gehen auf Linien 78, 79 wieder zur Berechnung der Sicherheitsreserve bei 50. Diese folgt den weiter oben beschriebenen mathematischen Grundlagen der Berechnung von SAFLIM und steht mit der Anzeige 10 in Verbindung.

In Fig. 7 ist als Beispiel für die Signalaufbereitung noch die Signalaufbereitung des Lenkwinkels wegen einer Besonderheit im Detail dargestellt. Das vom Lenkwinkelsensor 7 kommende Signal durchläuft der Reihe nach ein Tiefpaß 130, einen Analog/Digital-Wandler 131, ein Kalibrierwerk 132 und digitale Filter 133. Bei 134 steht dann das aufbereitete Lenkwinkelsignal AST zur Verfügung. Aus diesem wird weiter in einem Differenzierwerk 135 ein differenziertes Signal ASTDIF (136) gewonnen. Außerdem wird das aufbereitete Lenkwinkelsignal noch einem Totzeitglied 138 zugeführt, dessen Totzeit von der Fahrzeuglängsgeschwindigkeit 137, übermittelt über Leitung 137, abhängig eingestellt wird und an dem ein verzögertes Lenkwinkelsignal zur Verfügung steht. Dadurch ist es möglich, die Trägheit der Reaktion der Reifenlauf­fläche auf Lenkradbewegungen zu berücksichtigen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung der fahrdynamischen Sicherheitsreserve von Kraftfahrzeugen hinsichtlich des Kraftschlusses zwischen den Rädern und der Fahrbahn durch Vergleich von aus Fahrzustandswerten ermittelten Größen, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

a) Ermittlung eines Kraftschlußwertes in Querrichtung (Siy) aus Aufbauquerbeschleunigung (ay) und dynamischem Lenkwinkel (DEK),

- b) Ermittlung eines Kraftschlußwertes in Längsrichtung (S_{ix}) als Funktion von Raddrehbeschleunigung (Φ_{ii}) und Aufbaulängsbeschleunigung (a_x),
- c) Ermittlung der maximal erreichbaren Längsbeschleunigung (a_{xLIM}) und der maximal erreichbaren Querb beschleunigung (a_{yLIM}) aus dem Kraftschlußwert in Querrichtung (S_{iy}) und dem Kraftschlußwert in Längsrichtung (S_{ix}) durch Multiplikation mit fahrzeugspezifischen Koeffizienten (K_x, K_y)
- d) Ermittlung einer Grenzkurve ($aLIM$) aus den maximal erreichbaren Beschleunigungen (a_{xLIM}, a_{yLIM}),
- e) Bildung eines aktuellen Fahrzustandsvektors (AF) aus Längsbeschleunigung (a_x) und Querb beschleunigung (a_y),
- f) Ermittlung der Sicherheitsreserve ($SAFLIM$) aus der Länge des Fahrzustandsvektors ($AF(a_x, a_y)$) und der Länge des entsprechenden Grenzvektors ($AMAX(a_{xLIM}, a_{yLIM})$).
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Grenzkurve ($aLIM$) gespeichert ist und korrigiert wird, wenn in einem Fahrzustand andere Größen auftreten.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Grenzkurve ($aLIM$) bei Vorliegen eines neuen Fahrzustandes durch affine Vergrößerung oder Verkleinerung korrigiert wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kraftschlußwerte in Längsrichtung und Querrichtung (S_{ix}, S_{iy}) aus analytischen dargestellten Funktionen von a_y und DEK bzw. Φ_{ii} und a_x berechnet werden, wobei die Koeffizienten (K_x, K_y) der analytischen Darstellung aus durch Versuch oder Simulation ermittelten Werten erhalten werden.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Sicherheitsreserve ($SAFLIM$) mit definierten Schwellenwerten verglichen wird und daß bei Überschreiten dieser Schaltelemente Warnsignale ausgelöst werden.
6. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Kraftschlußwerte (S_{ix}, S_{iy}) nur dann zur Korrektur herangezogen werden, wenn sie innerhalb vorgegebener Grenzwerte liegen.
7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Lenkwinkelsignal (AST) über ein Totzeitglied (138) verzögert in die Berechnung eingeführt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Ermittlung der Kraftschlußwerte (S_{ix}, S_{iy}) eine die Fahrbahnneigung berücksichtigende Korrektur vorgenommen wird.

Hierzu 9 Seite(n) Zeichnungen

55

60

65

- Leerseite -

Fig.1

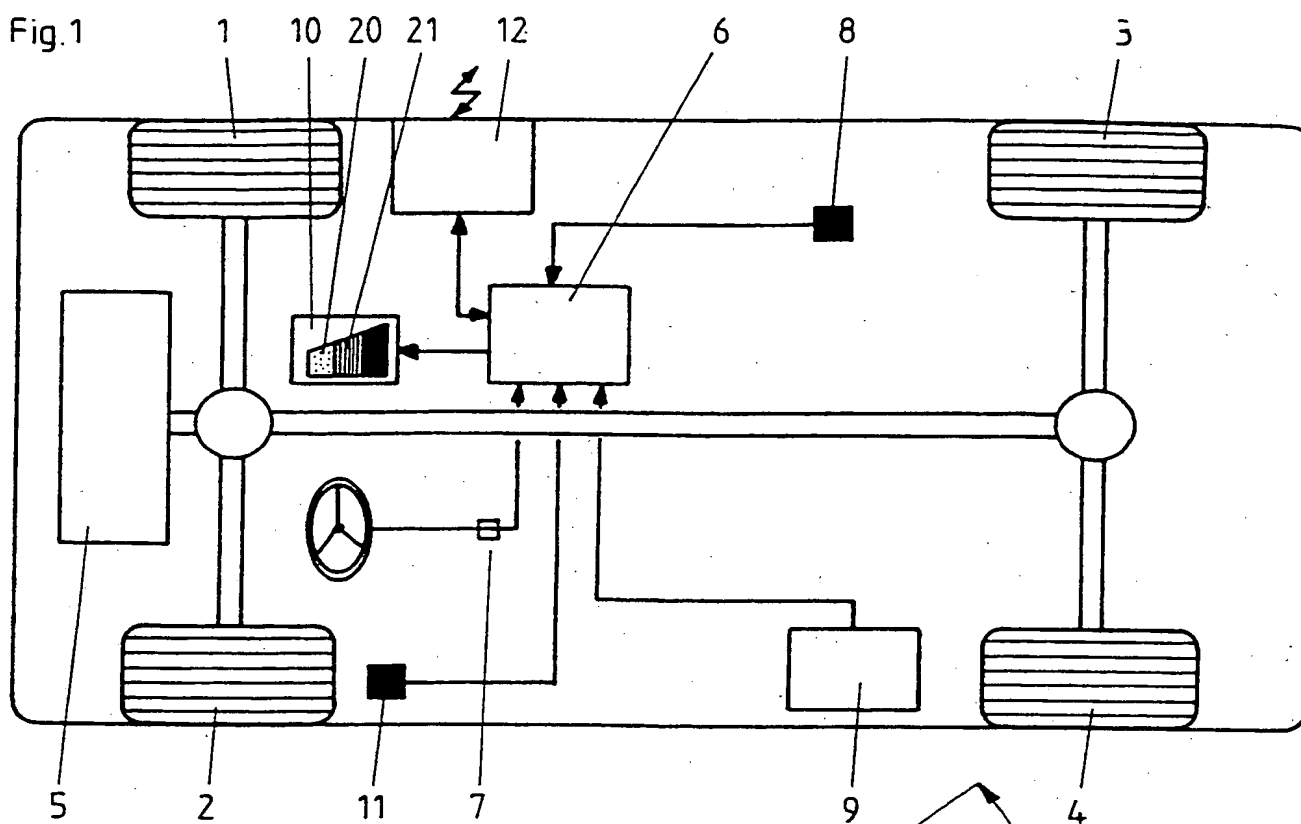
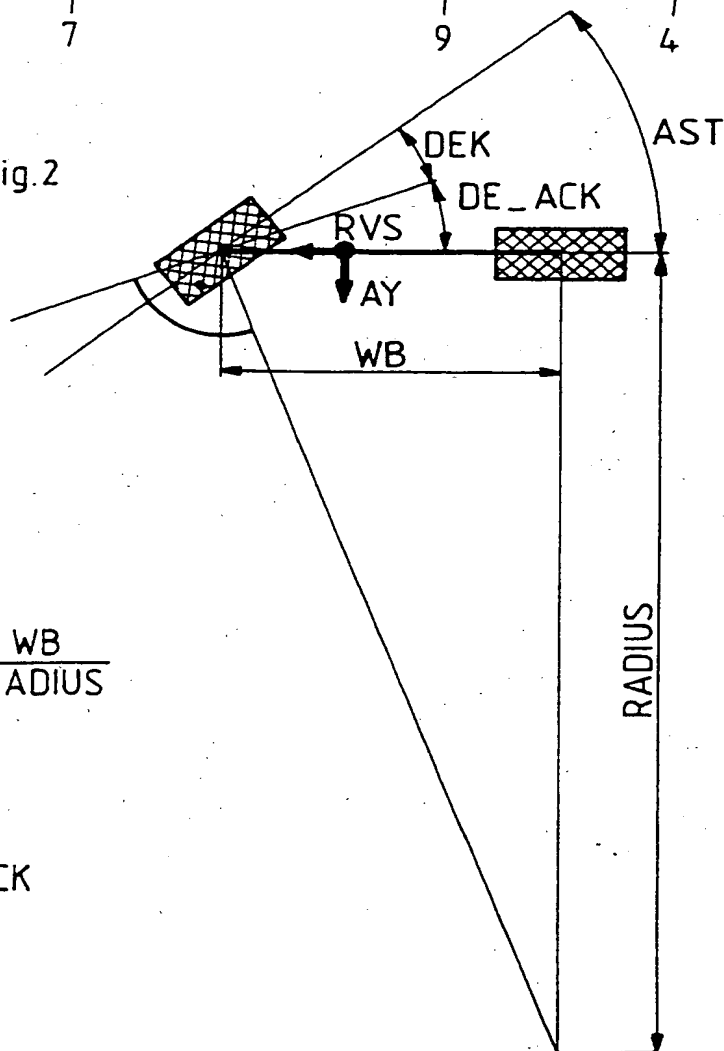


Fig.2



$$DE_ACK = \arctan \frac{WB}{RADIUS}$$

$$\text{RADIUS} = \frac{RVS^2}{ay}$$

DEK = AST - DE_ACK

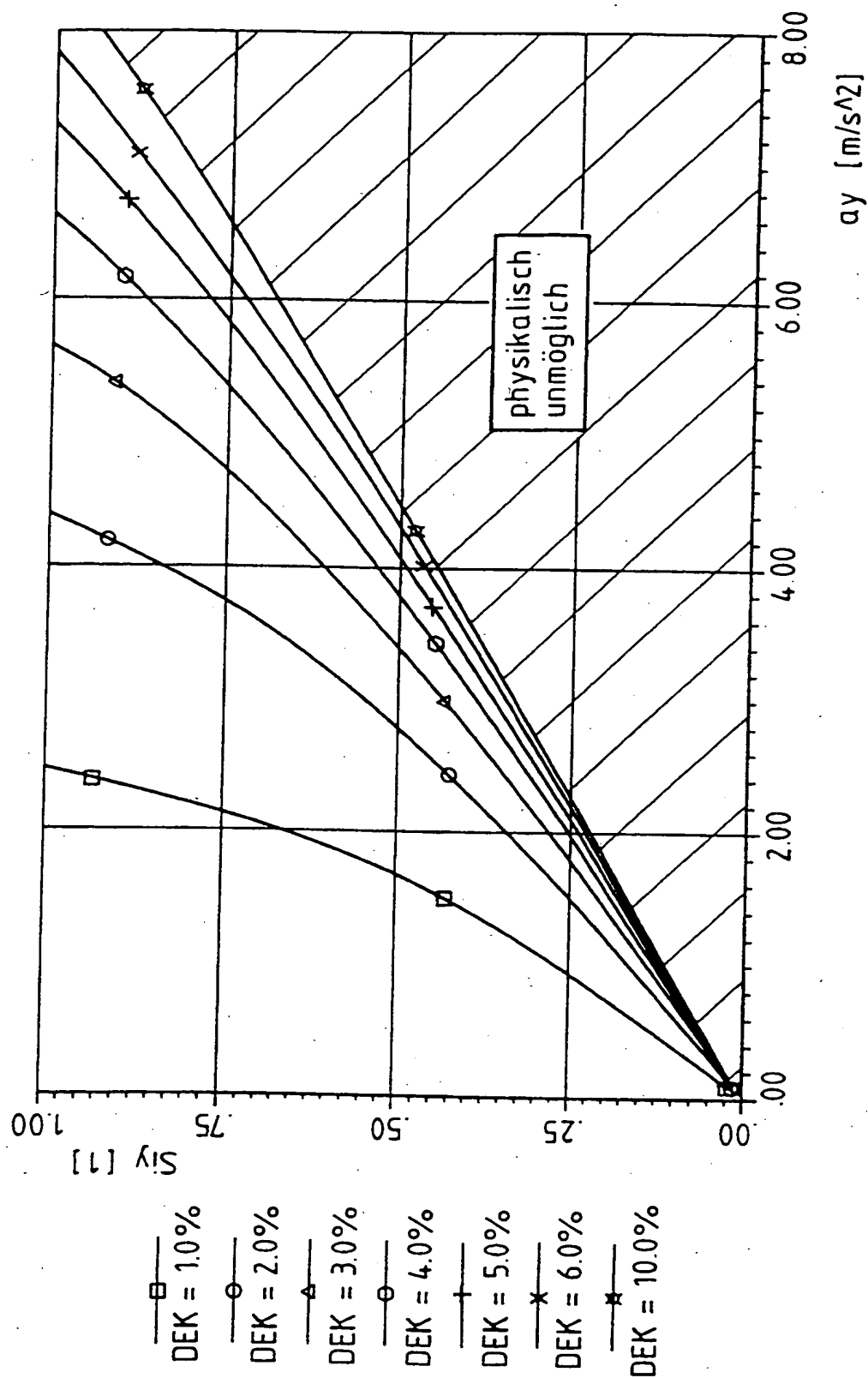


Fig.3

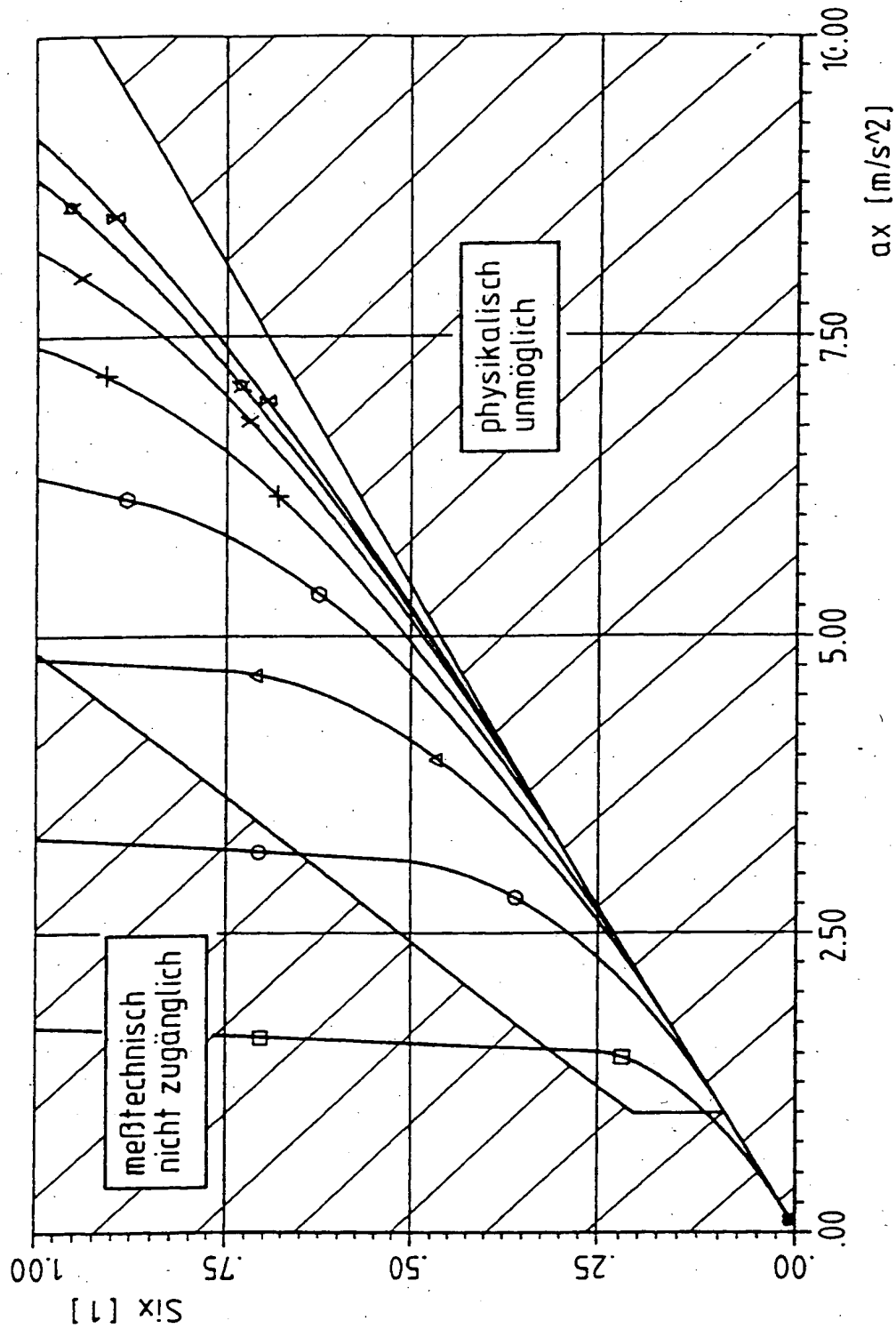
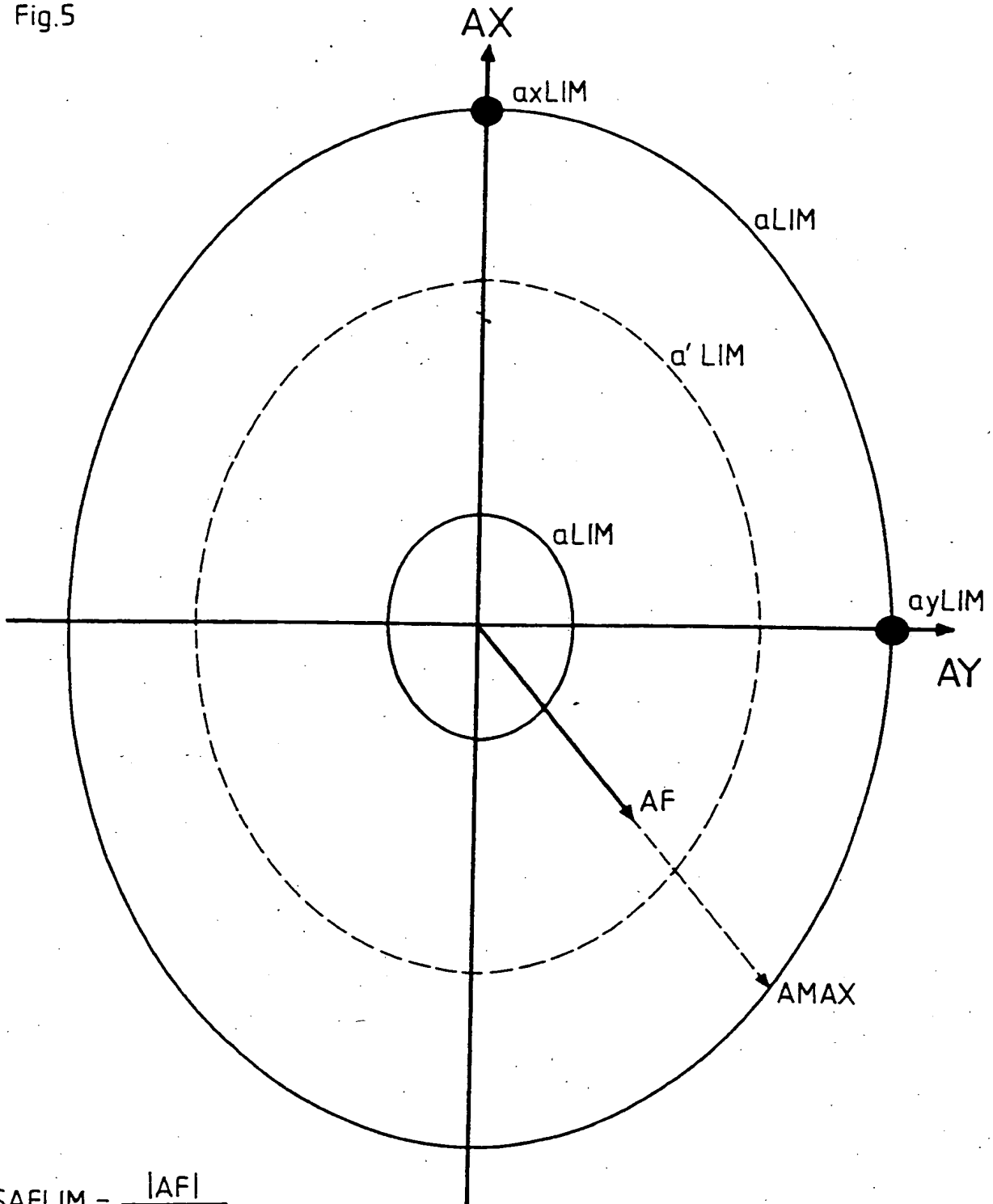


Fig.4

- $\ddot{\Phi} = 5.0 \text{ rad/s}^2$
- $\ddot{\Phi} = 10. \text{ rad/s}^2$
- △— $\ddot{\Phi} = 15. \text{ rad/s}^2$
- ◊— $\ddot{\Phi} = 20. \text{ rad/s}^2$
- +— $\ddot{\Phi} = 25. \text{ rad/s}^2$
- x— $\ddot{\Phi} = 30. \text{ rad/s}^2$
- $\ddot{\Phi} = 35. \text{ rad/s}^2$
- ⊗— $\ddot{\Phi} = 40. \text{ rad/s}^2$

Fig.5



$$SAFLIM = \frac{|AF|}{|AMAX|}$$

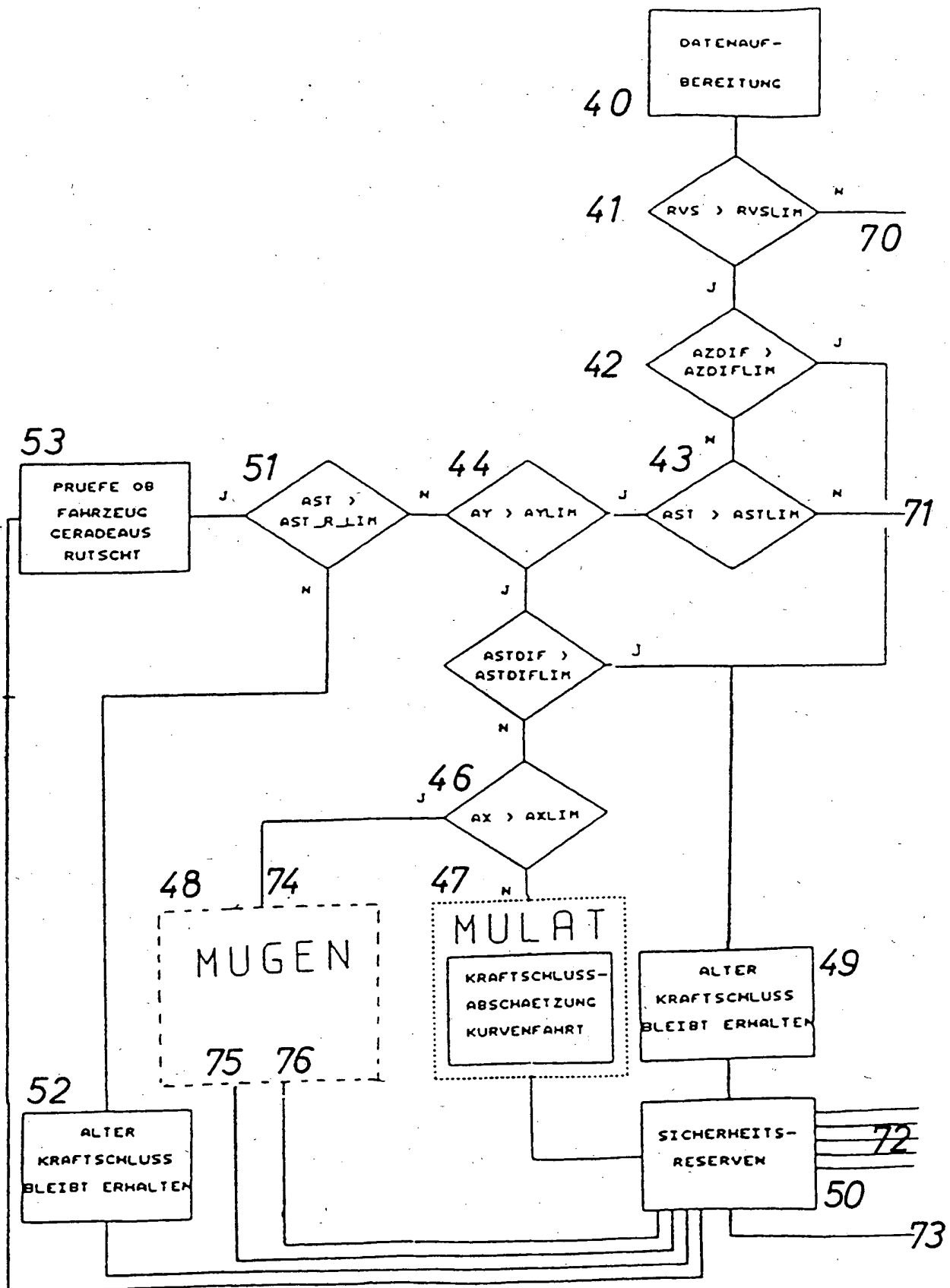


FIG. 6A

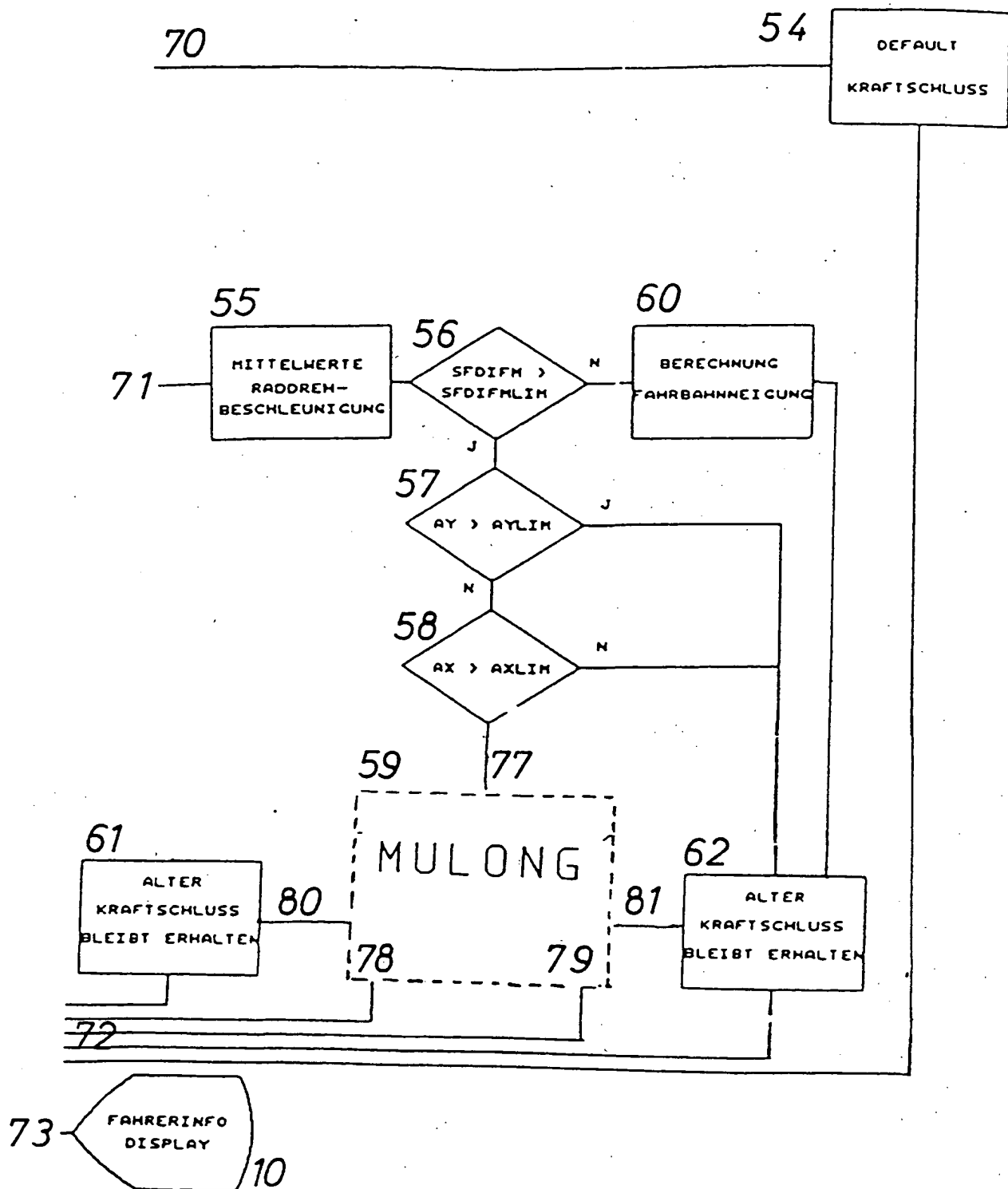


FIG. 6 B

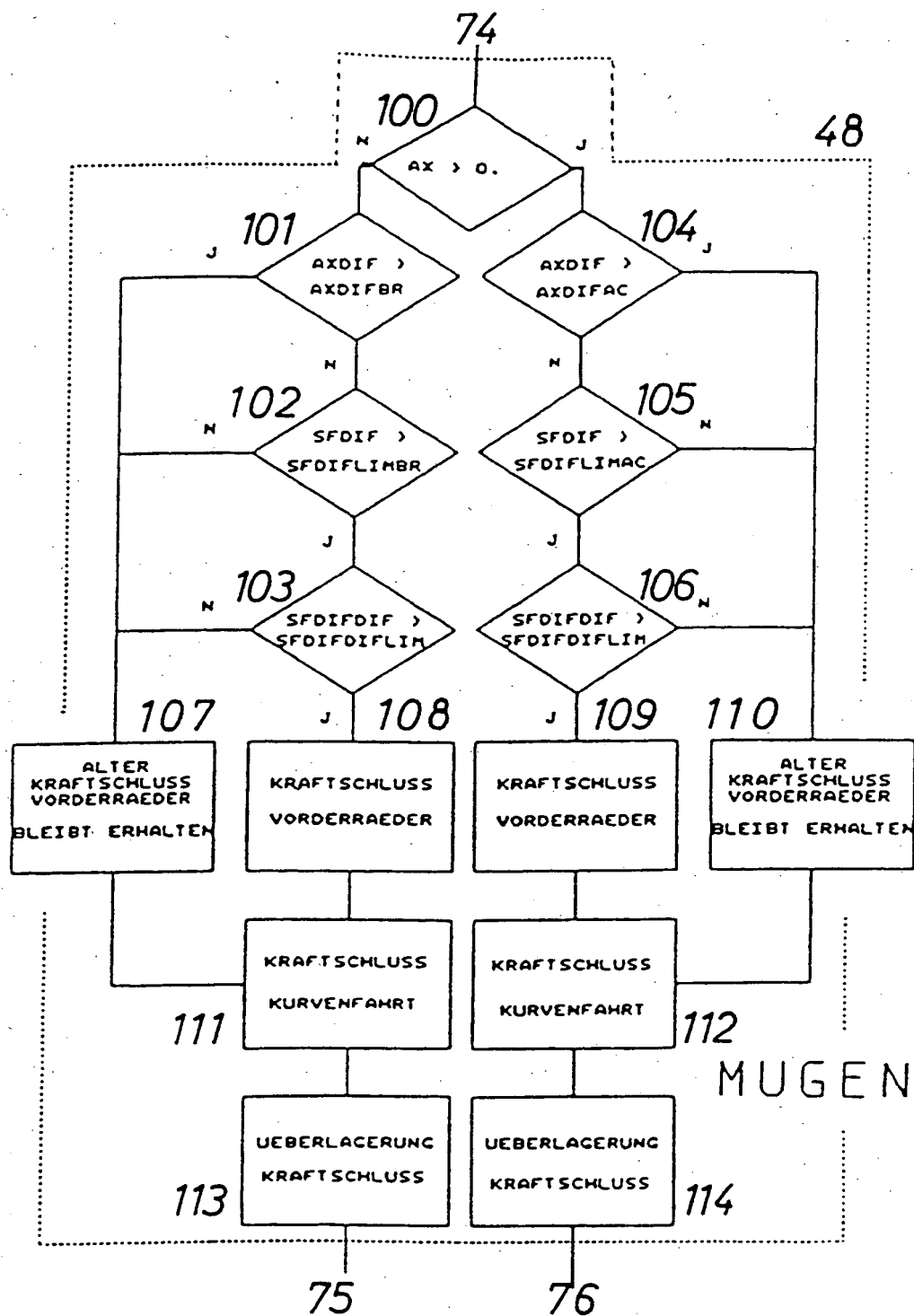


FIG. 6 C

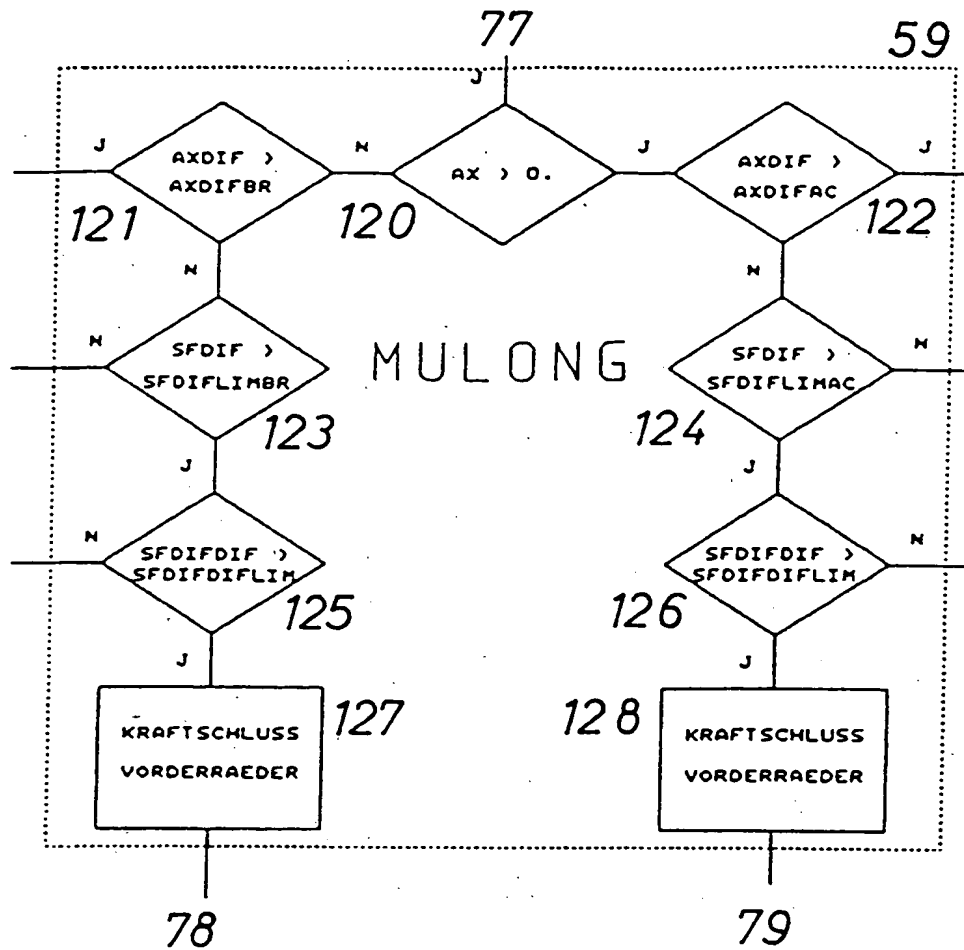


FIG. 6 D

